



# **Prozesskontrolle in landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen – Was müssen Mess- und Auswerteverfahren leisten?**

Dr. Gerd Reinhold (TLL),

SIMBA Biogas-Workshop  
17. April 2012, Weimar

## **Prozesskontrolle in landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen – Was müssen Mess- und Auswerteverfahren leisten?**

G. Reinhold

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 07743 Jena, Naumburger Str. 98

Mit der Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes in 2004 und 2009 begann eine stürmische Einführung der Biogas-Technologie in die Landwirtschaft. Die aus betriebswirtschaftlicher Sicht oft angestrebte Steigerung der Gasproduktion birgt die Gefahr des „Umkippen“ der Anlagen in sich. Auch im Normalbetrieb ergeben sich hohe Anforderungen an Prozesskontrolle da nur wenige Informationen zur Verfügung stehen und so der Biogas-Prozess mangels geeigneter Messtechnik zu „Blackbox“ wird. Mit über 220 landwirtschaftliche Biogas-Anlagen allein in Thüringen und einen geschätzten Jahresumsatz von 15 Mio. € allein aus dem Stromverkauf folgt eine hohe Relevanz einer durch Prozesskontrolle optimierten Gaserzeugung. Für eine effizienten Betrieb sind die Bereitstellung von aussagefähiger Prozessdaten und Auswertelgorithmen dringend erforderlich, da Laboranalysen hier Daten oft zu spät und in nicht ausreichender Qualität liefern.

Mit dem EEG 2012 steigen die Anforderungen deutlich, besonders wenn eine Steuerung der Gaserzeugung zur Bereitstellung von Regelernergie bzw. eine flexible Stromerzeugung z.B. im Hochtarif-Niedertarif-Betriebsregime angestrebt wird.

Das Ziel dieses Beitrages ist es, neben der Darstellung des Standes der Prozesskontrolle in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen, die Defizite der vorhandenen Kontroll- und Überwachungsparameter in den Abschnitten Substrat, Verfahren, Gasqualität und BHKW-Betrieb sowie zur Gärrest-Charakterisierung aufzuzeigen und die Aussagefähigkeit der einzelnen messbaren Parameter zu bewerten. Für den Bereich der Prozesskontrolle werden auch einfachen Auswerteverfahren und Rechensystemen diskutiert, die einen Soll-Ist-Vergleich und damit eine Bewertung der Effizienz der Anlage gestatten. Für die Abschätzung der Biogaserzeugung sind auch einfache Parameter wie TS-Gehalte und der Gehalte an organischer Trockensubstanz von hoher Relevanz. Diese können kaum aus Richtwerten entnommen werden, da hier die Einflüsse z. B. der Jahreswitterung bzw. die Verdünnung mit Wasser bei Wirtschaftsdünger wirken. Aktuelle möglichst praxistaugliche, online arbeitende Vor-Ort Messungen, der für die Gasbildung essentiellen Gehalte sind hiermit zwingend erforderlich. Eine Integration der Messergebnisse in die oft sehr unterschiedlichen Konzepte der Anlagensteuerung ist ein folgerichtiger Schritt.

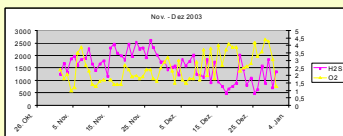
Mit der Charakterisierung von Zielwerten wird ein Beitrag zur Ausrichtung der Prozesskontrolle geliefert. Bisher orientierte sich die Anlagenbewertung an Zielwerten wie Anlagenleistung und Volllaststunden. Aber auch die Parameter für hohe Effizienz wie:

- Spezifische, rohstoffbezogene Stromproduktion in  $\text{kWh}_{\text{elektrisch}}/\text{t oTS}$
- Spezifische, rohstoffbezogene Methanproduktion in  $\text{l CH}_4/\text{kg oTS}$
- Substrateinsatzkosten in Euro/Tag und Euro/ $\text{kWh}_{\text{elektrisch}}$ .

sind mit den Anforderungen an flexible Stromerzeugung neu zu Überdenken. Die Erweiterung der Kenntnis des Biogasbildungsprozesses durch entsprechende Forschungsrichtungen, aber auch durch Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der Gasausbeute bzw. der Geschwindigkeit der Gasbildung zur Verringerung der Investitionssumme stellen perspektivisch neue Anforderungen an Messtechnik und Prozesssteuerung.

# Prozesskontrolle in landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen – Was müssen Mess- und Auswerteverfahren leisten?

Dr. Gerd Reinhold



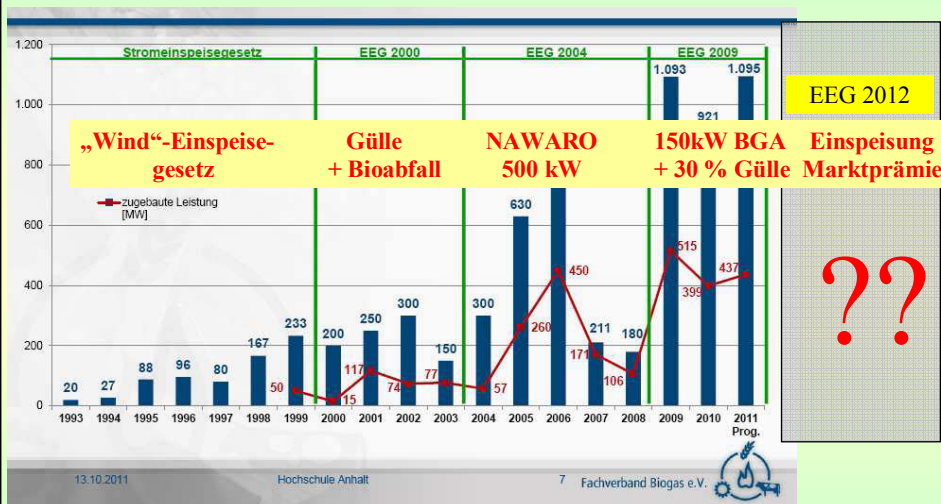
Prüfgegenstand: Gülle  
Prüfziel: Analyse nach vorgegebenen Parametern

Parameter	Dimension	Messwert
Pfälsäure	g/l	4,21
Essigsäure	g/l	10,0
Propionsäure	g/l	4,42
Buttersäure	g/l	0,18
iso-Valeriansäure	g/l	0,12
n-Valeriansäure	g/l	< 0,01
Capronsäure	g/l	15,5
Essigsäureäquivalent	g/l	



**SIMBA Biogas-Workshop**  
Weimar, 17. April 2012

## Wirkung der EEG-Novelle



EEG-Novellen → unstetiger Anlagenbau



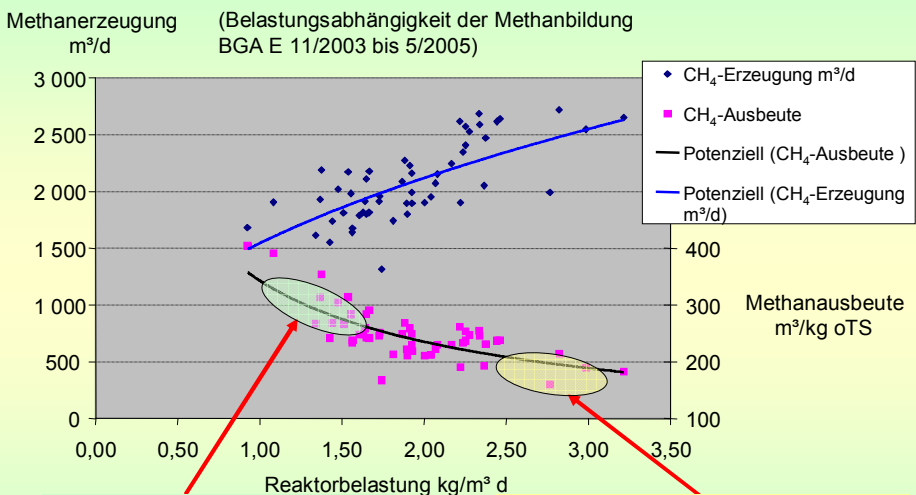
# Eckpunkte EEG 2012

- **Grundvergütung und Einsatzstoffgruppen**
- Aufhebung **Ausschließlichkeit**
- **>150 Tage Verweilzeit** im gasdichten Raum
  - Problem Gülle (Ausnahme: ausschließlich Gülle < 15 % TS)
- **> 60 % Wärmenutzung** (incl. 25 % Prozesswärme)
  - BGA an der Wärmesenke bzw. Ersatzwärmenutzung
  - Ausweg → Direktvermarktung
- „**Maisbremse**“ (< 60 % Mais, Getreide, CCM, LKS)
  - Steigender Flächenbedarf
- **Marktprämie** (Pflicht: ab 1.1.2014 u. > 750 kW)



TLL Jena 2011, Reinhold

## Prozessoptimierte -Anlagenauslegung



Substratausnutzung

Investitionsausnutzung



TLL Jena 2011, Reinhold

## Inhaltliche Schwerpunkte

- EEG 2012
- Stand Biogas in Thüringen
- Biogaserzeugung und Prozesskontrolle
- Anforderungen an Untersuchungen
  - in der Biogasanlage
  - Substratanalyse in Labor
  - Schwachstellen der Analysen



TLL Jena 2011, Reinhold



Quelle:  
[www.tll.de/ainfo](http://www.tll.de/ainfo)

### 105. Biogasanlage Großbrudestedt

- > 90 % der BGA in den Landwirtschaftsbetrieben
  - ➔ **kaum Substrathandel u. keine Wirkung auf Pacht**
- kaum NAWARO/Trockenvergärungsanlagen
  - > **fast 75 % Wirtschaftsdünger am Substratmix**
- Nutzung: 65 % der Rindergülle, 38 % der Schweinegülle  
16 % des Stallmistes, 160 % des HTK
- Flächenverbrauch **Summe: 40,5 Tha**
  - Mais 20 Tha, AWS 6,6 Tha,
  - Getreide 12,8 Tha, GPS 1,9 Tha
- > 95 % **GOM**, zunehmende Wärmenutzung



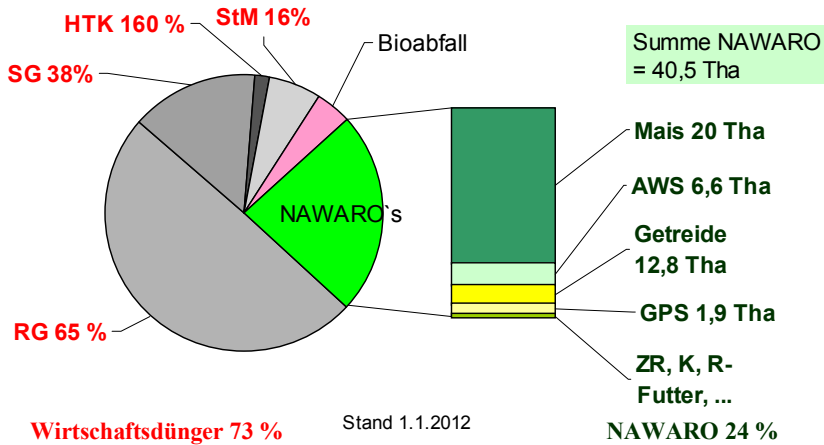
**226 BGA nach EEG**  
**an 201 Standorten**  
(1.1.2012)  
450 kW/BGA  
102 MW<sub>installiert</sub>



TLL Jena 2011, Reinhold

## Substrateinsatz in Thüringer BGA

(Wirtschaftsdünger % v. Anfall; NAWARO's in Tha)



**226 BGA nach EEG, 102 MW<sub>installiert</sub>  
an 201 Standorten (1.1.2012), 450 kW/BGA,**



TLL Jena 2011, Reinhold

# Prozesskontrolle- und Substratüberwachung in der Biogasanlage

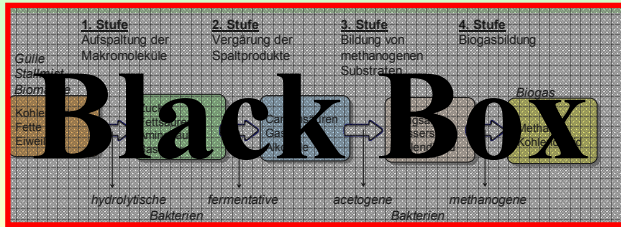
-

**Stand und Handlungsbedarf !!**



TLL Jena 2011, Reinhold

## Das 4-Stufen Modell der Biogasgewinnung



### Biologisches System

– kaum direkter Einfluss auf Mikrobiologie möglich -

### Wesentliche Maßnahmen (wie im Mittelalter):

- „Diät“ (Substratzufuhr verringern)
- „zur Ader lassen“ (Fermenter teilweise / vollständig leeren)
- neu „Nahrungsergänzung“ über *Spurenelemente* Zugabe

**Schwerpunkte: Prozesskontrolle,  
Mess- u. Analyseverfahren**

TLL Jena 2011, Reinhold

## Emissions- und Umweltkontrolle

### Substratanalytik

TS, oTS, N, P, K,  
Mg, pH,  
Schwermetalle,  
Hemmstoffe, ....

### Prozess- kontrolle

Tem-  
peratur  
Füllstand,  
Druck,  
Belastung,  
Verweilzeit  
, ....

### Gasanalyse u. –verwertung

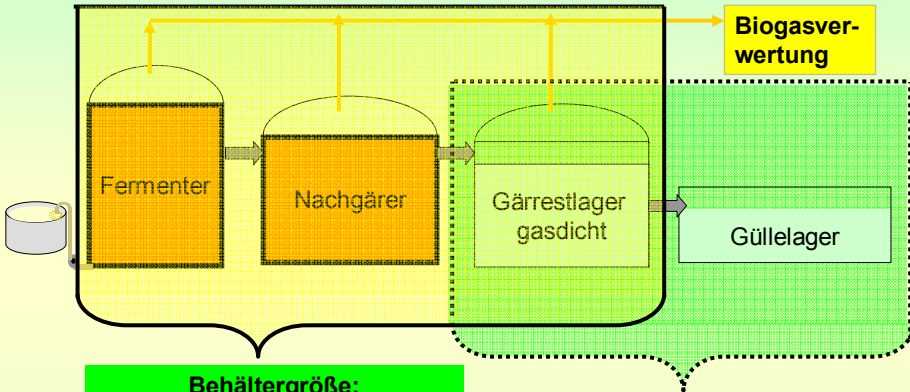
CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S,  
Temperatur, Menge,  
(Normbedingungen), ...

### Biogasgülle / Gärrest

TS, oTS, N, P, K, Mg, pH,  
Schwermetalle, Hemmstoffe,

**Kombination von eigene Prozesskontrolle,  
Laborproben und externer Beratung**

## 150 d gasdichte Abdeckung (EEG 2012)



**Behältergröße:**  
**Mindestverweilzeit (150 d)**  
(EEG 2012)  
**Ziel:  $\text{CH}_4$  - Vermeidung**  
**Achtung: Bei Gasspeichervolumen > 10 t (>7500 m<sup>3</sup>)**  
**-> Störfallverordnung**

**Güllelagerkapazität:**  
Mindestgröße 180 d DVO  
**Ziel:  $\text{NH}_4\text{-N}$  Vermeidung**



TLL Jena 2011, Reinhold

## Schwachstellen von Laboranalytik

- **Probenahmequalität** (VDLUFA-Vorschrift) und **Probentransport** (meist durch Betreiber, nicht einfrieren)
- **Probenhomogenisierung** (Gefahr von N-Verlusten)
- **Zeitverzug**
- Kein Bezug zwischen **Substrat- und Gärrestprobe** (kaum Substratanalyse, ...)
- Kaum Bezug zwischen **Probe – Prozesskennwerte**
- Kenntnis der **Anlagentechnik** im Labor
- **Ergebnisbewertung**, nicht nur Zahlen liefern

**-> Zwischenschaltung des Biogasberaters**

**-> Stärken der Prozesskontrolle vor Ort**



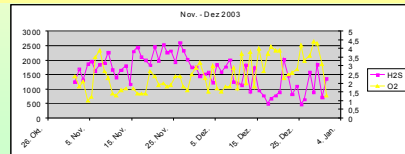
TLL Jena 2011, Reinhold



# Minimale Überwachungswerte in der BGA PC-gestützte Datenablage

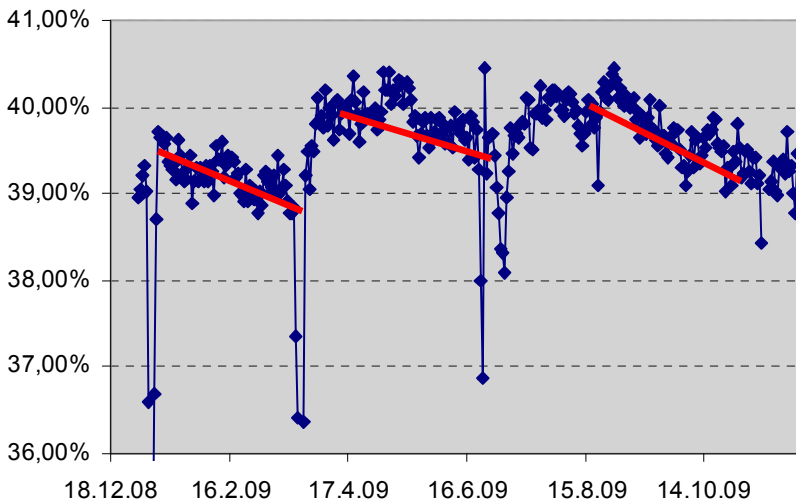
- **Substrateinsatz (je Substratart)**
  - Zuspisemenge ( $\text{m}^3/\text{d}$ ), TS-Kontrolle, oTS-Richtwert
- **Anlagenbetrieb**
  - Temperatur, Durchmischung (Sink- u. Schwimmschichten), Pumpenlaufzeiten, Wassertassen, ...
- **Energieerzeugung**
  - Gasmenge,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Gasverluste (Fackel), ...
  - BHKW Ist-Soll-Laufzeit, Wirkungsgrad, ...

→ Aufzeichnen und  
→ Auswerten  
(Trenddarstellung)



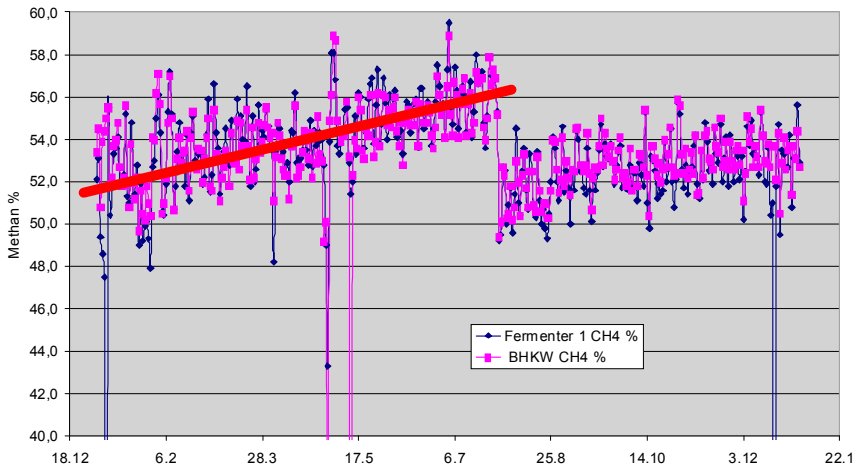
TLL Jena 2011, Reinhold

## Entwicklung des Wirkungsgrades über ein Jahr



TLL Jena 2011, Reinhold

# Verlauf der CH<sub>4</sub>-Messung



TLL Jena 2011, Reinhold

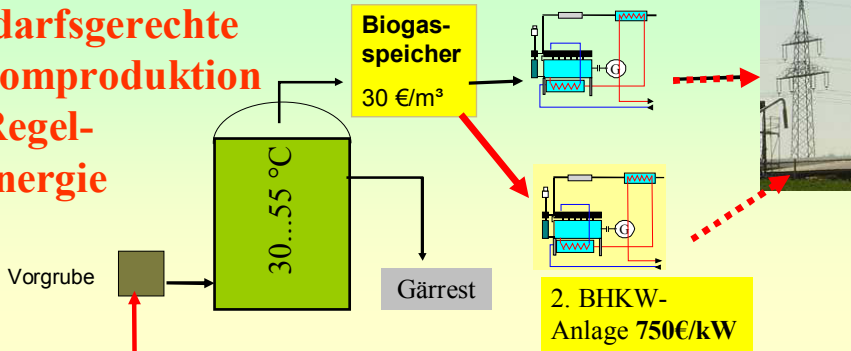
## Prozesskontrolle

- **Fettsäure, FOS/TAC, Temperaturen, Füllstände ...**
- **Trends** (Woche, Monat, Quartal) im
  - *Methangehalt*
  - *Prozesswärmebedarf*
  - *BHKW – Wirkungsgrad*
- **Verweilzeit und Reaktorbelastung**
- **Spezifische Stromeinspeisung**
- **Gasproduktion im Vergleich zu Richtwerten**
  - *Soll - IST – Vergleich*
  - *Methanertrag*
  - *Regelenergie / Fahrplan*



TLL Jena 2011, Reinhold

# Bedarfsgerechte Stromproduktion + Regelenergie



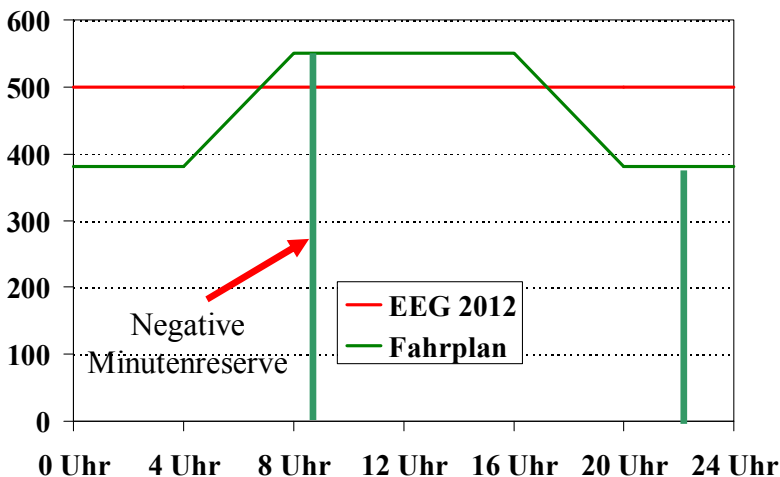
**Substrate:**  
NAWARO + WD  
gut speicherbar

- **Steuerung der Gaserzeugung**
    - Schlechte Auslastung Fermenter
    - Zusatz BHKW-Kapazität
  - **Gasspeicherung**
    - Zusatz Speicher u. BHKW-Kapazität
- „Stromgeführte KWK-Anlagen“



TLL Jena 2011, Reinhold

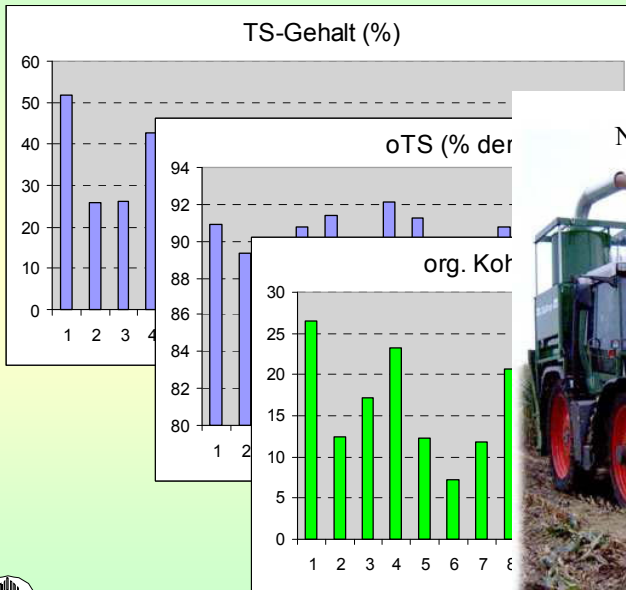
## Prozesskontrolle + EEG 2012 → Bedarfsgerechte Stromerzeugung



TLL Jena 2011, Reinhold

# Ergebnisse Silo-Monitoring

**AWS**



TLL Jena 2011, Reinhold

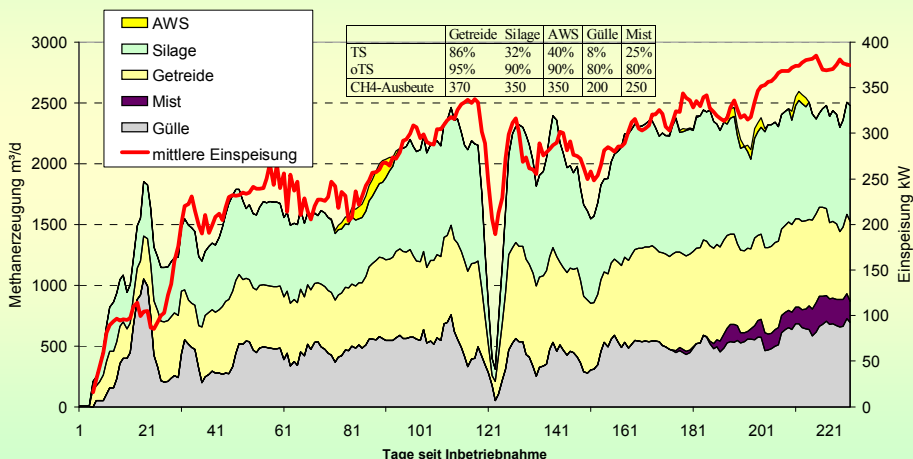
## Zielwerte für Prozessbeurteilung

- Spezifische, rohstoffbezogene  $\text{CH}_4$ - Produktion  
– **l  $\text{CH}_4/\text{kg oTS}$**
- Spezifische, rohstoffbezogene Stromproduktion  
–  **$\text{kWh}_{\text{elektrisch}}/\text{t oTS}$**  (Substratmixabhängig)
- Substrateinsatzkosten  
– **€/d und Euro/ $\text{kWh}_{\text{elektrisch}}$**
- Prozessstrombedarf **Zielwert**
- Schwimmschicht
- **Fahrplanteue / Regelmöglichkeiten**



TLL Jena 2011, Reinhold

# Vergleich theor. CH<sub>4</sub>-Erzeugung u. der Einspeisung (5 d Mittelwerte, 35 % Wirkungsgrad bei 0,9 Normgasfaktor, BGA Diedorf 2006)



TLL Jena 2011, Reinhold

## Gärrest – Biogasgülle

- **Nährstoffgehalte (NPK)** wichtig für Düngung (*Laboranalysen*)
- **Menge** *errechenbar aus Gasertrag – wichtig für Lagerraumbedarf*
- **TS, oTS** *errechenbar aus Gasertrag bzw. bei Messung Hilfsgröße für Gasbilanzierung*
- *Nutzung des TLL-Rechner Biogasgülle*

[www.tll.de/ainfo](http://www.tll.de/ainfo)



TLL Jena 2011, Reinhold

Thüringer Landesanstalt  
für Landwirtschaft

**Rechner Biogasgülle**

**Anfall, Inhaltsstoffe, Kosten und Wert der Biogasgülle**

Kalkulationstabellen "Substrat" und "Kalkulation" ermöglichen eine Ermittlung des Anfalls und der Inhaltsstoffe der in landwirtschaftlichen Biogasanlagen anfallenden Biogasgülle auf Basis der TLL-Richtwerten bei freier Auswahl der Inhaltsstoffe der Substrate

Hinweise zur Kalkulation

MENU

Substrat
Kalkulation

Bearbeiter: Dr. G. Reinhold
E-Mail: g.reinhold@jena.tll.de
Tel: (0 36 41) 68 31 67

Variante: 
Versiondatum: 1.11.2007

(keine Gewähr für Richtigkeit der Berechnungen)

# Laboruntersuchungen auf Inhaltsstoffe

## Zeitschiene

- **laufende Prozesskontrolle** (Routine: 1x/Woche ... alle 3 Monate)
  - Probenahme durch Betreiber oder Labor (?),
  - + Erfassung Anlagendaten
  - Probentransport z.B. über Paketservice (Temperatur),
  - Untersuchungszeitbedarf,
  - *Ergebnisübermittlung nach 48 ... 72 h*
- **bei Prozessstörung** (Anlagenkenntnis, Prozessdaten)
  - Empfehlung zum Weiterbetrieb, z.B. Fütterungsstopp
  - Probenahme und Transport durch Betreiber,
  - Probenuntersuchung reduzierter Umfang (FS, FOS/TAC, N)
  - *Ergebnisübermittlung nach 12...24 h*



TLL Jena 2011, Reinhold

## Gasanalyse und BHKW-Kennwerte

- **Gaszusammensetzung** – technisch gelöst
  - *Methangehalt als Indikator für Prozessstörung*
  - *$\text{NH}_4$ -Gehalt (abhängig vom pH-Wert)*
  - *$\text{H}_2\text{S}$ -Gehalt (wichtig für den BHKW Betrieb)*
- **Gasmenge** – technisch vielfältige Probleme
  - Umrechnung auf Normbedingungen  $\text{m}^3_{\text{N}}$  erforderlich für Vergleiche
  - Z.T. Rückrechnung aus BHKW möglich
- **BHKW-Parameter** – technisch gelöst, wenig Prozesswirkung
  - *Wirkungsgradmessung erforderlich*
  - *Oft keine Kopplung zur Visualisierung*



TLL Jena 2011, Reinhold

# Labor-gestützte Prozesskontrolle

- **Betreiber erfasst**
  - **Substrateinsatz (je Substratart)** Zuspisemenge ( $\text{m}^3/\text{d}$ ), ...
  - **Anlagenbetrieb:** Temperatur, Durchmischung, Laufzeiten, ....
  - **Energieerzeugung:** Gasmenge,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Gasverluste, ...
- **Labor untersucht und wert aus:**
  - TS, oTS, Fettsäure, FOS/TAC, ... NPK, ...
  - Hemmstoffe, ...
- **Auswertung** (Trenddarstellung):
  - Verweilzeit und Reaktorbelastung
  - Spezifische Stromeinspeisung
  - **Gasproduktion im Vergleich zu Richtwerten**
    - *Soll - IST - Vergleich*



TLL Jena 2011, Reinhold

# Forschungsgegenstände hinsichtlich Prozesskontrolle

- Jede Anlage ist ein Unikat (Technik, Substrat, Prozessverlauf)
- Qualität der Probenahme und -charakterisierung  
Richtwerteanwendung, Mengenerfassung, Substratqualität
- Entwicklung von online-Messwerterfassung zu Prozesskennwerten
- Insellösungen bei Prozesskontrolle, -führung, netzgestützte standardisierte Auswerteverfahren
- Festlegung der Erfolgsparameter
- F/E-Bedarf zum Prozessverlauf u. -beeinflussbarkeit

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!**



TLL Jena 2011, Reinhold